

Helmut Satz

Gottes unsichtbare Würfel

Die Physik an den Grenzen
des Erforschbaren

Verlag C. H. Beck

Хельмут Затц

Бог играет невидимыми кубиками

Физика на грани
познаваемого

Перевод с немецкого

Минск
«Дискурс»
2018

УДК 530.1
ББК 22.3
3-37

Перевод с немецкого Марии Деминой

Затц, Х.

3-37 Бог играет невидимыми кубиками : физика на грани познаваемого = Gottes unsichtbare Würfel : Die Physik an den Grenzen des Erforschbaren / Хельмут Затц ; пер. с нем. Марии Деминой. — Минск : Дискурс, 2018. — 288 с. ISBN 978-985-90437-3-4.

Есть ли границы у Вселенной? А если есть, то может ли человек к ним приблизиться? Насколько далеко мы можем исследовать космос, насколько глубоко заглянуть внутрь атома, насколько точно представить, что было в начале времен? В этой книге всемирно известный физик Хельмут Затц рассказывает о границах современной физики и пытается предположить, что за ними скрыто.

УДК 530.1
ББК 22.3

ISBN 978-985-90437-3-4

© Verlag C. H. Beck oHG, München, 2013
© Перевод на русский язык, издание на русском языке, оформление.
ЧУП «Издательство
Дискурс», 2018

Бог не играет в кости.

Альберт Эйнштейн

Нет, Бог играет в кости,
только порой забрасывает их так далеко,
что нам их никак не увидеть.

Стивен Хокинг

Оглавление

Предисловие	11
1. Горизонты	17
Граница досягаемости	20
Запретные уголки Вселенной	25
Мельчайшие детали материи	27
Край земли	29
Крыша мира	34
2. Исчезающие звезды	41
Скорость света	42
Почему небо темное по ночам?	57
Теория Большого взрыва	63
Инфляционное расширение	71
Потусторонний мир	74
3. Тайное сияние черных дыр	79
Скорость освобождения	80
Приливы и отливы	87

Море нерожденных частиц	93
Незримый свет на горизонте	98
4. Видения космонавта	107
Гравитация и ускорение	109
Конец связи	115
Температура вакуума	117
Молния в пустоте	119
Жуткое дальное действие	122
5. Конец делимости	131
Почему светит Солнце?	141
Сильное ядерное взаимодействие	144
Кварки	152
Квантовая структура нуклонов	158
Цветовой горизонт	164
6. Кварковая материя	171
Коллективное поведение	181
Наивысшая температура	187
Большой взрыв в лаборатории	192
Насколько горяча кварк-глюонная плазма	199
7. Скрытая симметрия	205
Модель Изинга	212
Теневые частицы	221

Локальные симметрии	225
Токовая масса	232
8. Последняя завеса	241
Переходы	244
Вначале все было едино	247
Границы в космосе	251
Конец исчислимости	252
Новые измерения	256
Мост Эйнштейна	259
Язык физики	265
Приложения	271
Алфавитный указатель имен	285

Предисловие

Рай или знание? Встав перед выбором, человек, согласно Библии, выбрал знание. Но можно ли противопоставлять одно другому на самом деле? Ведь оказалось, что приобретенные знания и открывшиеся за пределами Эдемского сада просторы приносят не меньше счастья и удовлетворения, чем потерянный рай.

Издавна люди стремились изучать мир, в котором живут, всегда хотели знать, что находится за горизонтом. Именно благодаря любопытству 200 000 лет назад на краю Африки началось путешествие, которое привело нас в самые отдаленные уголки планеты. Мы ходили по всем океанам и летали над всеми континентами. Наши зонды продвигались дальше и глубже в космос, исследуя далекие галактики. А на другом конце шкалы, в микромире, мы продолжали расщеплять материю с помощью ускорителей заряженных частиц, анализируя ее мельчайшие составляющие, их взаимодействие, изучая, как сотворен мир. Есть ли конец этому поиску? Наткнемся ли мы когда-нибудь на непреодолимые границы в макро- или микромире?

За последние 100 лет физики и космологи доказали, что подобные границы действительно существуют и есть

области Вселенной, в которые нам не проникнуть никогда. Путешествовать там мы можем только в нашем воображении, можем лишь фантазировать, как они выглядят и как устроены, размышлять, есть ли где-нибудь в этом мире знаки, указывающие на их существование или форму.

Недосягаемые области располагаются в дальних уголках Вселенной, где, с нашей точки зрения, она расширяется со скоростью, превышающей скорость света. Но могут они быть и ближе — в черных дырах, где сила гравитации так велика, что в плену оказывается даже свет. В микрокосме же кварки навечно заперты в своем мире, предельно плотном, без пустот, и никак оттуда не выбраться. Начавшись с Большого взрыва, наша Вселенная на ранних стадиях также состояла из очень плотной и горячей материи. Мы изучаем взаимодействие частиц в таких условиях, разгоняя их до высоких энергий и сталкивая друг с другом. Вселенная в своей эволюции должна была проходить самые разные состояния. Теперь они сокрыты от нас за горизонтами времени. Так что же это за состояния?

Из недостижимых областей Вселенной к нам не поступает никакой информации, и все же порой появляются странные знаки, указывающие на существование данных областей. Подобные знаки возможны благодаря квантовым эффектам. Формы излучений, исследованием которых занимаются Стивен Хокинг и Уильям Унру, как раз являются примерами эффектов такого рода, они возникают, когда происходят квантовые флуктуации на границе, разделяющей области с различными принципами причинности. Учитывая разнообразие так называемых элементарных

частиц, можно предположить, что они появились в результате фазового перехода из более простого и симметричного мира. Понять, как происходит подобный переход — от плазмы, состоящей из кварков, к газу, состоящему из нуклонов и мезонов, — ученые пытаются в лабораториях, сталкивая заряженные частицы высоких энергий. Эта работа может дать нам доступ к недостижимому никак иначе состоянию ранней Вселенной.

В этой книге я хочу показать, как были обнаружены различные границы доступного нам мира — на Земле и в космическом пространстве, в макро- и микромире, в наше время и ранее — и как они способствовали формированию нынешней картины мира. Перед вами история зарождения представлений о мире, которая началась еще до появления естествознания, и представления эти выходят за рамки интереса ученых. Ведь сначала были философы, искавшие ответ на вопрос, из чего состоит мир. Были мореплаватели, отважившиеся проверить, есть ли у земли край. Были астрономы, желавшие определить наше положение во Вселенной при помощи выдуманной заново геометрии. Задумываясь, почему светит солнце или почему небо темное по ночам, наши предки закладывали фундамент для нынешних знаний о мире. Американский писатель Эдгар Аллан По описал Большой взрыв в литературе еще до того, как тот стал актуален для физики. Многие явления, которые мы сегодня связываем с черными дырами и мостами Эйнштейна — Розена между удаленными точками в пространстве, встречались в сказках Льюиса Кэрролла еще до того, как стали частью естествознания. И другие идеи время от времени возникали

то тут, то там, в науке и в научной фантастике. Науку и фантастику объединяет один вопрос: похоже ли не открытое до сих пор на то, что уже открыто, и можно ли вообще это узнать? Если можно, то ответ непременно должен находиться в области физики, физики на границах познаваемого.

Эта книга не даст вам системного представления о последних разработках в области физики и космологии. Она расскажет историю, начавшуюся давным-давно и, конечно, пока не приблизившуюся к своему концу. В книге изложен ход событий, совершенно изменивших мир в течение двух-трех десятилетий, как это случилось во времена Васко да Гама и Колумба, а потом Планка, Эйнштейна, Бора и Гейзенберга. С другой стороны, порой требовалось целое тысячелетие, чтобы добавить в картину мира тот или иной эпицикл, как это было в случае с Птолемеем и Коперником. Знаменитый австрийский теоретик Вальтер Тирринг сказал однажды: «Чтобы привнести что-то новое, нужно иметь новые идеи», а они возникают не каждый день, и в этом главная трудность науки. Сама по себе игра на клавишах известных теоретических формальностей порождает множество мелодий, но не приводит к обретению новой и убедительной гармонии.

Рассказывая историю, я попытался обойтись без математики. Это палка о двух концах, об этом я буду говорить подробнее в приложении «О языке физики». Даже Эйнштейну приходилось сравнивать точку зрения пассажира поезда с точкой зрения провожающего на вокзале, чтобы объяснить теорию относительности. Но для более глубокого понимания сути обращение к математике необходимо. В качестве

компромисса я собирал разные технические дополнения, которые позже появились в конце книги, там я хотел прояснить простые размышления, используя математику. И все же я очень надеюсь, что вся картина останется понятной, даже если опустить эти дополнения.

Когда пытаешься сделать текст доступным и легким, насколько это вообще возможно, повторение определенных понятий и идей кажется необходимым. Конечно, можно прибегать к фразе «как уже говорилось в предыдущей главе», но иногда для читателя гораздо удобнее, когда кое-что повторяется в кратком изложении. Я прошу вас с пониманием отнестись к повторам. Кажется, у меня есть и еще один повод извиниться. Если передо мной вставал выбор между научной точностью и упрощением, помогающим пониманию, я чаще всего выбирал второе. Уж лучше пусть читатель продолжает следить за ходом моих мыслей, даже если позже потребуются кое-что уточнить, чем запутается в технических подробностях. На такой подход меня вдохновил великий датский физик Нильс Бор, который считал, что истина и ясность — понятия взаимодополняющие и чем больше удастся добиться одного, тем меньше остается другого.

Наконец я хочу поблагодарить всех, кто помогал мне на пути к постижению физической картины мира и ее развития. Значимую поддержку оказывали мне коллеги из Билефельда, Брукхайвена, Женевы (Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН)), Дубны и многих других учреждений и городов. Основополагающее значение для меня имели совместная работа и дискуссии с ними. Я очень признателен Сюжете фон Редер, помогавшей мне дистанционно с технической

стороной создания рукописи. Особенную благодарность выражаю Стефану Больману, редактору издательства «С. Н. Век», который тщательно прочитал весь текст и предложил бесчисленное количество исправлений, а также устранил неточности. Last, but far from least, то есть — в последнюю очередь, но не потому, что вклад ее незначителен, — благодарю мою жену за то, что терпела и поддерживала меня все эти годы.

Билефельд, 2013

Хельмут Затц

От лузитанских берегов
по морю, что еще не покорили.
Луиш де Камознс. Лузиады

1. ГОРИЗОНТЫ

ограничивают наш мир, где бы мы ни находились. Стоим мы на самой высокой горе или летим на самолете — наш взгляд всегда упирается в горизонт, и заглянуть за него невозможно. К тому же горизонт непостижим: ты пытаешься до него добраться, а он удаляется все дальше и дальше. И все же мы можем размышлять — что же находится за линией горизонта? — и вопрос этот интересовал людей во все времена. Пожалуй, он звучит отчетливее всего, когда мы стоим на берегу моря и видим, как смыкаются водная гладь и небо. Более трех тысяч лет назад на берегу Средиземного моря финикийцы построили парусные суда и отправились к границам известного им мира, к Геркулесовым столбам, которые ныне зовутся Гибралтаром. Викинги устремили свои корабли в неизведанное Норвежское море, а португальские мореплаватели отважились выяснить, где находится край земли, если он существует. Горизонты всегда рождали желание узнать, что находится на том берегу моря или за горой, каков мир, простирающийся там. Конечно, важную роль играл поиск лучших условий для жизни, сносного климата

и выгодных связей. Людьюми двигало врожденное любопытство. Именно оно, возможно, явилось силой, заставившей человечество расселиться по всей планете и даже отправиться за ее пределы. Все океаны покорены, все земные горизонты исследованы, наши зонды в космическом пространстве достигают все более и более отдаленных звезд. Да и в микрокосме мы постоянно движемся вперед в поисках мельчайших составных частей материи. Ускорители заряженных частиц позволяют расщеплять ее все дальше. Прекратится ли это когда-нибудь, существуют ли эти мельчайшие составляющие? Есть ли горизонты, как в макро-, так и в микромире, во времени или в пространстве, до которых нам не добраться и за которые не заглянуть?

Горизонт — это не только пространственный, но еще и временной предел. В прежние времена, если путешественник видел вдаль горную цепь, он знал, что увидит земли, лежащие за ней, лишь спустя много часов. Значит, у его «горизонта знания» есть пространственное измерение — километры — и временное — часы. Все это побуждало человека как можно быстрее разузнать, что же находится за горизонтом. Лошадь могла домчать путешественника к горной цепи гораздо быстрее, и на долгое время она и стала решением проблемы. Появились почтовые станции, где уставших всадника и лошадь могли заменить на уже отдохнувших, таким образом новости теперь можно было распространять с удивительной скоростью.

Эта система работала в Древнем Египте, Персии и Китае более трех тысяч лет назад. В Римской империи посыль-

**Auf Münster vom 25. des Weinmonats im Jahr
1648. abgesetzter Fried- und Friedbringender Postreiter.**



*Почтальон на лошади провозглашает окончание
Тридцатилетней войны в 1648 году*

ные могли преодолеть на лошади 300 километров за сутки. Посыльные и почтовые экипажи определяли удобство путешествий и скорость передачи информации вплоть до XIX века. Почтовая компания «Пони-экспресс» существенно способствовала освоению американского Запада: чтобы за десять дней доставить почту с восточного побережья в Калифорнию, требовалось более 400 лошадей. Даже в наше время президент США, избранный в ноябре, приносит присягу в Вашингтоне только в январе. Прежде эти два месяца между выборами и присягой давались калифорнийцам на то, чтобы добраться верхом до восточного побережья.

Если объединить пространственный и временной аспекты предела, возникнет горизонт в новой форме —

граница досягаемости.

Если взять в качестве способа передачи информации посыльного на лошади, который движется со скоростью 300 километров в день, то для того, чтобы отправить весточку себе-седнику, находящемуся за 900 километров, потребуется трое суток. А до тех пор он остается по ту сторону горизонта досягаемости. Чем больше время ожидания, тем больше и область, внутри которой мы можем передавать и получать информацию. Разделение нашего мира на досягаемые и недосягаемые области представлено ниже на иллюстрации. Разделение это, естественно, зависит от скорости нашего посыльного: чем быстрее он движется, тем дальше мы сможем продвинуться в пространстве за установленный отрезок времени.

Современный транспорт доставляет нас до цели не за дни, недели или месяцы, а за часы. Путешествие из Европы на Дальний Восток, еще 100 лет назад занимавшее несколько недель, в наше время требует не больше десяти часов. А если речь идет всего лишь об установлении связи с людьми «по ту сторону горы», то тут справятся почти беспрепятственно телефон и радио.

Временная дистанция при обмене информацией с удаленными регионами зависит только от того, как быстро мы можем посылать и принимать сигналы.

Поэтому существенным шагом в понимании природы стало открытие предела скорости передачи информации — конечной скорости света. На Земле получающаяся из-за нее задержка в большинстве случаев незначительна и даже при коммуникации на межконтинентальном уровне едва ли



*Горизонт
досягаемости
для посыльного
на лошади,
проезжающего
300 километров
в день*

кому-то мешает. В отдаленных же мирах о том, что происходит у нас на планете сегодня, узнают гораздо позже, а информация, которую мы только что получили оттуда, для них уже в прошлом. Мы видим звезды, которые светились миллионы лет назад, и не можем знать, существуют ли они до сих пор, а если существуют — где они находятся сейчас. Следовательно, в мире есть горизонты, за которые нам никак не проникнуть.

И все же даже эти горизонты в значительной степени определяем мы сами. Свет дальних звезд добирался бы до нас, если бы мы могли ждать его дольше, и для радиосигналов, распространяющихся со скоростью света, возможно сделать такую же диаграмму досягаемости, как для посыльного на лошади. Тот путь, который отнимал у него несколько дней, свет пролетает за доли секунды. Из-за разницы в скорости передачи информации в игру вступает новый, весьма важный аспект. Границы, существующие у посыльного, расширятся,